

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE
EN PHYSIQUE NUCLÉAIRE

PAR

Bernard TINLAND

SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DES INTERACTIONS
ENTRE LES ANTIPROTONS DE 3 Gev/c
ET LES NUCLÉONS LIES

SOUTENUE le 25 Mars 1964 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN :

MM. A SARAZIN

Président

G PHILBERT

A LAFORGUE

{ Examinateurs

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE
EN PHYSIQUE NUCLÉAIRE

PAR

Bernard TINLAND

SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DES INTERACTIONS
ENTRE LES ANTIPROTONS DE 3 GeV/c
ET LES NUCLÉONS LIÉS

SOUTENUE le 25 Mars 1964 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN :

MM. A SARAZIN

Président

G PHILBERT

A LAFORGUE

{ Examineurs



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553420_0011

UNIVERSITE DE LYON

FACULTE DES SCIENCES

Doyens Honoraires

MM. LONGCHAMBON
DOUIN
MOUSSA
GAUTHIER Henri

Professeurs Honoraires

MM. LOCQUIN
de LARAMBERGUE
SOLLAUD
MENTZER
MOUSSA
JAFFARD
DOUIN
EYRAUD Henri
DEJARDIN
VIRET

Doyen

M. BRACONNIER

Assesseurs

MM. MESNARD
BOIDIN

Professeurs

MM. LONGCHAMBON	Minéralogie
PRETTRE	Chimie industrielle
COURTY	Chimie - Physique
KUHNER	Botanique
MALECOT	Mécanique rationnelle et appliquée
PARIS	Chimie minérale
AUMERAS	Chimie
COLONGE	Chimie organique
JANIN	Physique générale
FLANDRIN	Géologie appliquée
BERNARD	Physique industrielle
DUFAY Jean	Astronomie
NIGON	Zoologie expérimentale
GAUTHIER Henri	Géologie générale
WAUTIER	Zoologie
CHOPIN	Chimie biologique
CUEILLERON	Chimie
BRACONNIER	Calcul différentiel et intégral
EYRAUD Charles	Chimie-Physique appliquée
SARAZIN	Physique nucléaire
BOIDIN	Microbiologie et Mycologie
PERES	Physiologie
MESNARD	Electronique
GRANDMONTAGNE	Physique
BOUTILLIER	Minéralogie
LAFOUCRIERE	Physique nucléaire
DREUX	Chimie organique
TEICHNER	Chimie industrielle
PAVANS de CECCATTY	Zoologie
MERLIN	Chimie analytique
DUFAY Maurice	Physique de l'Atmosphère
FRAISSE	Mathématiques
LUBET	Physiologie
PHILBERT	Physique nucléaire
COHEN-ADDAD	Chimie
DAVID Louis	Géologie générale
CHANEL	Psychophysiologie
MAURY	Méthodes Mathématiques de la Physique

Professeurs sans Chaire

MM. GAUME	Physique
DEPRAZ	Physique nucléaire
FERON	Mathématiques
LAFORGUE	Physique
LEGAY	Zoologie expérimentale S.P.C.N
UZAN	Physique S.P.C.N.
GAUTHIER Jean	Chimie
CHENEVOY	Géologie appliquée
GINET	Zoologie
ASCH	Physique
MICHEL Pierre	Minéralogie
DUCET	Biologie végétale

Maîtres de Conférences

Mle MAITROT	Physique
Mme ERICSON	Physique générale
MM. GEVIN	Géologie générale
PONASSE	Mathématiques
d'INCAN	Physique
MARTEL	Mécanique
LEFEBVRE	Mathématiques
PERNET	Mathématiques
CHERY	Physique
BERGEON	Physique C.S.U.
Mle GAUTHERON	Chimie biologique
MM. MATHIEU	Mécanique des Fluides
ERBEIA	Physique
DESCOTES	Chimie organique
PICARD Philippe	Mathématiques
LEMOIGNE	Botanique
DEMARCO	Géologie générale
MICHEL Georges	Biochimie
LEBRETON	Biologie végétale
DAVID Jean	Biologie animale
TOUSSET	Chimie propédeutique
FEUVRAIS Louis	Physique Electricité
PICARD Claude	Mathématiques
SCHMITT Roger	Physique M.P.C.

Maître de Conférences Adjoint

M. PIERRON

Chimie

Secrétaire Principal Honoraire

M. ROUX

Conseiller Administratif

M. BURNET

A MA MERE

AVANT - PROPOS

Ce travail a été réalisé à l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon, j'exprime toute ma gratitude à Monsieur le Professeur A. SARAZIN qui en assume la direction et a bien voulu m'y accueillir.

Monsieur le Professeur G. PHILBERT m'a proposé le sujet de cette étude et en a constamment guidé la marche, ses conseils m'ont été précieux. Je l'en remercie très vivement.

Monsieur le Professeur A. LAFORGUE a voulu manifester par sa présence dans ce jury l'intérêt qu'il porte à mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie également Madame F. GUERIN, avec qui j'ai eu à maintes reprises de fructueux échanges de vues.

Mes remerciements vont encore à Madame A. BURDET qui a su créer au laboratoire une atmosphère très sympathique, ainsi qu'à Madame M. JOOS et Mademoiselle BOISSY qui ont assuré avec beaucoup de conscience professionnelle le travail ingrat de recherche des événements.

INTRODUCTION

On admet généralement dans les interactions à haute énergie, deux mécanismes successifs :

- un mécanisme de choc extrêmement rapide, où les nucléons participent à une cascade intranucléaire génératrice de pions chargés ou neutres
- un mécanisme d'évaporation où l'énergie, distribuée dans ce qui reste du noyau, permet l'émission de nucléons d'énergie plus faible.

La première phase, qui dure 10^{-23} à 10^{-22} s. environ, est responsable de l'émission de particules rapides, se manifestant dans les milieux ionisants par des traces de gerbes et des traces grises (mésons et protons). La seconde a une durée de 10^{-18} s. environ, on lui attribue la formation des traces des protons et fragments de faible énergie (traces noires et quelques traces gris-noires). L'origine des particules α de vitesse notable se rattache à une phase encore mal connue ; elle a fait l'objet d'un travail précédent⁽¹⁾.

Disposant d'émulsions exposées à un faisceau d'antiprotons rapides, il nous a paru intéressant d'étudier quelques unes des caractéristiques de leurs interactions avec les noyaux complexes.

En raison des différents mécanismes qui y participent, les réactions du caractère le plus général sont difficiles à interpréter, aussi avons nous préféré nous limiter aux événements du type " étoile blanche ". Ces événements sont dûs à deux types de collisions :

1 - Les collisions antiproton - proton libre qui sont très bien étudiées à l'aide de la technique des chambres à bulles.

2 - Les réactions avec un noyau complexe, telles que l'excitation

du noyau résiduel soit faible. Cela implique une cascade courte, c'est à dire finalement un phénomène ayant essentiellement les caractéristiques d'une collision individuelle avec un nucléon lié du noyau. Ce nucléon peut être, soit un proton, soit un neutron. D'après la conservation de la charge, c'est un proton si le nombre de branches de l'évènement est pair, un neutron s'il est impair (l'hypothèse étant bien entendu faite qu'il n'y a pas de particules chargées d'évaporation et que toutes ces particules émises dans la collision individuelle sont expulsées du noyau.)

Compte tenu du fait que les chambres à deutérium ne sont pas encore entrées en fonctionnement ou bien n'ont pas été utilisées pour des expériences de ce genre, l'étude des évènements à nombre de branches impair est la seule méthode que nous ayons pour atteindre les interactions antiproton - neutron.

Nous proposons donc dans ce travail de donner un certain nombre d'informations relatives aux évènements du type antiproton nucléon lié observés au cours de l'exploration d'un stack d'émulsions exposées à un faisceau d'antiprotons de 3 GeV/c. Notre attention a été particulièrement retenue par les problèmes suivants :

- proportion relative des interactions antiproton - neutron lié et antiproton - proton lié.
- émission d'une particule aux faibles angles
- corrélation entre l'angle d'émission et l'énergie de telles particules.

Avant de rapporter nos résultats expérimentaux, nous ferons une mise au point bibliographique relative aux travaux antérieurs sur des questions connexes.

CHAPITRE I

RAPPEL DE QUELQUES RESULTATS ANTERIEURS SUR LES INTERACTIONS DES ANTIPROTONS

1° - Aux basses et moyennes énergies, l'interaction antiproton - noyau est essentiellement un phénomène d'annihilation antiproton - proton lié, avec création de pions, précédé éventuellement de collisions de l'antiproton avec un ou plusieurs nucléons ou une sous-structure nucléaire ; ensuite se produisent les processus habituels de cascade pion - nucléon lié, puis l'évaporation et la désexcitation du noyau composé.

On peut distinguer :

- les annihilations au repos se produisant en fin de parcours des antiprotons
- les annihilations en vol se produisant sur le parcours des antiprotons.

Depuis que l'on sait produire expérimentalement des faisceaux d'antiprotons, ces types d'évènements ont fait l'objet de plusieurs études dans divers laboratoires. En particulier, Pelat a étudié à Paris l'annihilation dans les noyaux de l'émulsion photographique, des antiprotons dont l'énergie est comprise entre 200 et 250 MeV⁽²⁾. Cet auteur signale que, dans ces annihilations, sont produits des pions, protons, deutons, tritons et particules α ; ces dernières s'expliquant en presque totalité par l'évaporation. La multiplicité des pions chargés émis dans les annihilations en vol est $2,1 \pm 0,4$, et le rapport avant / arrière correspondant : $1,3 \pm 0,3$. Lors des annihilations en fin de parcours, la distribution angulaire des pions est isotrope ; l'anisotropie observée dans le cas des annihilations en vol est due uniquement au mouvement du centre de masse du système. Ces résultats sont en bon accord avec ceux donnés précédemment par d'autres auteurs, en par-

ticulier le groupe Chamberlain, Goldhaber et Segré, de Berkeley⁽³⁾.

2° - Interaction des antiprotons rapides avec l'hydrogène. Le faisceau d'antiprotons de 3 GeV/c produit au CERN, associé à une chambre à bulles à hydrogène, a été utilisé par Morrison et al.⁽⁴⁾ pour étudier la diffusion élastique antiproton - proton. La section efficace de diffusion élastique antiproton - proton a été trouvée égale, après normalisation à l'aide du modèle optique, à $21,2 \pm 1$ mb et la section efficace totale antiproton - proton à $72,3 \pm 1,9$ mb.

Des expériences similaires ont été effectuées à Brookhaven avec le faisceau d'antiprotons de 3,95 GeV/c par Sandweiss et col.⁽⁵⁾. La section efficace de diffusion élastique antiproton - proton donnée par ces auteurs est : $22,9 \pm 1,1$ mb et la section efficace totale d'interaction : $74,2 \pm 1,5$ mb.

Enfin, Amaldi, Cocconi et col. ont déterminé avec précision la variation de la section efficace totale $\bar{p} - p$ entre 0,58 et 5,3 GeV/c⁽⁸⁾. Nous déduisons des courbes données par ces auteurs la valeur de cette section efficace à 2 GeV/c, soit : (78 ± 3) mb.

CHAPITRE II

METHODES EXPERIMENTALES

1° - Le stack

Un stack de 100 émulsions superposées du type Ilford G5, chacune de dimensions $14,3 \text{ cm} \times 23,3 \text{ cm} \times 600 \mu\text{m}$, a été exposé en Juillet 1962 au faisceau d'antiprotons de $3 \text{ GeV}/c$ produit au CERN par action de protons de 28 GeV sur une cible de béryllium. Le flux était égal à 10^5 anti-protons pour tout le stack. Ce faisceau contenait $2,6 \pm 0,43 \%$ de mésons π^- et $10,7 \pm 78 \%$ de leptons μ^- (6). Après l'exposition, les émulsions furent développées au CERN, puis réparties entre les laboratoires de Paris-Sorbonne (Professeur Morand), de Caen (Professeur Schérer), de Clermont Ferrand (Professeur Avan) et de Lyon (Professeur Philbert) où elles furent dépouillées.

2° - L'exploration

Chaque trace, repérée à quelques millimètres du bord d'entrée de la plaque, était suivie jusqu'à, soit un évènement, soit la sortie de la plaque, soit la fin d'un parcours de 10 cm . Les microscopes utilisés à cet effet étaient du type Leitz Ortholux, munis d'oculaires $10\times$ et d'objectifs $22\times$ ou $53\times$.

3° - Les mesures

Nous nous sommes intéressés tout particulièrement à la détermination de l'angle sous lequel est émise la particule ayant la direction la plus voisine de la direction incidente, ainsi qu'à l'énergie de cette particule.

L'angle γ d'une trace secondaire avec une trace incidente située

dans le plan horizontal est donné par la relation bien connue :

$$\cos \gamma = \cos \theta \cdot \cos \delta$$

où θ est l'angle projeté sur le plan horizontal et δ l'angle entre la trace secondaire et le plan horizontal. Ces angles ont été mesurés par les procédés habituels et classiques.

Nous avons également procédé à une détermination de l'énergie de la particule correspondante par la méthode de la diffusion multiple.

Une particule de charge z subit avec les noyaux atomiques de l'émulsion un grand nombre de chocs qui provoquent des changements multiples de direction de sa trajectoire. L'angle moyen de diffusion α entre deux cellules consécutives de longueur L s'exprime en fonction de l'impulsion p de la particule par la relation :

$$\alpha = \frac{k \cdot z \cdot L^{1/2}}{p \beta c}$$

k est la constante de diffusion, égale à 27

L est la longueur de cellule, en unités de 100 m

β est exprimé en degrés et le produit $p \beta c$ en MeV/c

Dans le cas présent $z = 1$

La mesure de l'angle moyen nécessite un microscope spécialement équipé (Koristka R4). Les erreurs proviennent principalement de la déformation inégale des couches de l'émulsion qui provoque la distorsion des traces, et du bruit de fond constitué par les erreurs de visée de l'observateur, la qualité plus ou moins bonne de la platine, la dispersion des grains de la trace.

Voici, brièvement exposée, la méthode que nous avons utilisée :

Méthode des cellules simples et multiples

La trace est amenée parallèle à l'axe horizontal du réticule de l'oculaire

micrométrique à tambour Koristka ; on place la croisée des fils du réticule sur la trace pour chaque cellule et on lit la valeur y_i des flèches correspondantes. Les différences secondes :

$$D_i = (y_i - y_{i+1}) - (y_{i+1} - y_{i+2})$$

divisées par la longueur de cellule L donnent la valeur de l'angle de déviation entre deux cellules successives. L'angle de diffusion α est la moyenne de ces angles :

$$\text{Posons : } D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} D_i \quad ; \quad \alpha = \frac{D}{L}$$

En réalité, D est la somme de la diffusion multiple vraie d et du bruit de fond e . Il est d'usage d'éliminer toutes les valeurs D_i supérieures à 4 fois la valeur moyenne et correspondant aux grands angles de diffusion; d et e présentent alors une distribution gaussienne et la valeur quadratique moyenne D^2 est reliée aux valeurs quadratiques moyennes d^2 et e^2 par l'expression :

$$D^2 = d^2 + e^2$$

L'angle de diffusion vraie est :

$$\alpha = \frac{d}{L}$$

Afin de déterminer d , on considère des cellules de longueur L et des cellules de longueur mL (avec m entier). Nous avons :

$$D_L^2 = d_L^2 + e^2$$

$$D_{mL}^2 = d_{mL}^2 + e^2$$

Or

$$d_L = L \alpha_L = L^{3/2} \cdot \frac{k \cdot z}{p \beta c} \quad \text{et}$$

$$d_{mL} = mL \cdot \alpha_{mL} = (mL)^{3/2} \cdot \frac{k \cdot z}{p \beta c}$$

d'où :

$$d_{mL}^2 = m^3 d_L^2$$

En définitive :

$$D_m^2 - D_L^2 = d_m^2 - d_L^2 = (m^3 - 1) d_L^2$$

$$d = \left[\frac{D_{mL}^2 - D_L^2}{m^3 - 1} \right]^{1/2}$$

L'angle de diffusion $\alpha = d/L$ ainsi calculé est, en principe, indépendant de la valeur du bruit de fond. On peut écrire finalement :

$$p \beta c = \frac{k}{d} \cdot L^{3/2} \cdot \frac{\pi}{180}$$

L'introduction du facteur $\frac{\pi}{180}$ est une conséquence de la mesure en degrés de α .

L'erreur statistique commise sur $p \beta c$ est égale à :

$$\Delta(p \beta c) = \frac{0,9 \cdot p \beta c}{\sqrt{n}}$$

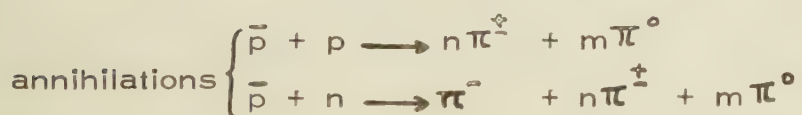
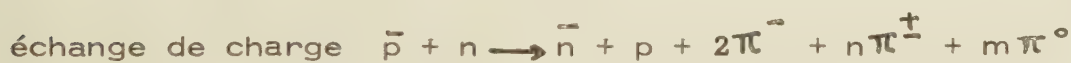
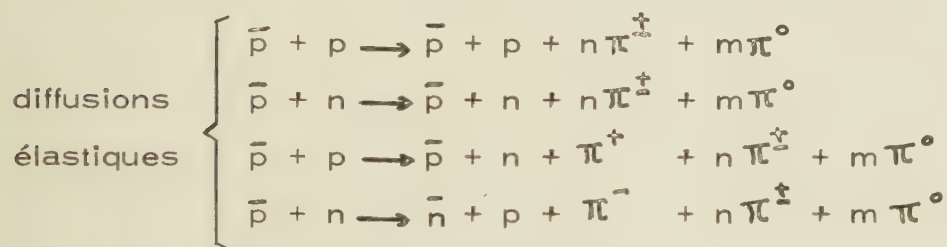
où n est le nombre total des mesures de diffusion

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX

1° - Sections efficaces de production des étoiles blanches à nombre de branches pair et impair

Nous appelons étoiles blanches les étoiles ayant au plus une trace grise, les autres traces ayant une ionisation inférieure ou égale à 1,4 fois l'ionisation minimum. Ces étoiles correspondent aux processus suivants :



Parmi les traces des particules émises, nous trouvons donc au plus une trace d'antiproton et une trace de proton. En général, dans le cas de la diffusion inélastique, l'antiparticule conserve une partie de son moment linéaire initial et est émise vers l'avant. On constate que la section efficace de diffusion élastique des antiprotons par les noyaux de l'émulsion (hydrogène excepté), calculée à l'aide du modèle optique devient négligeable lorsque l'angle de diffusion est supérieur à 4 degrés (figure 1) ; nous avons par suite convenu de classer parmi les interactions inélastiques antiproton - neutron

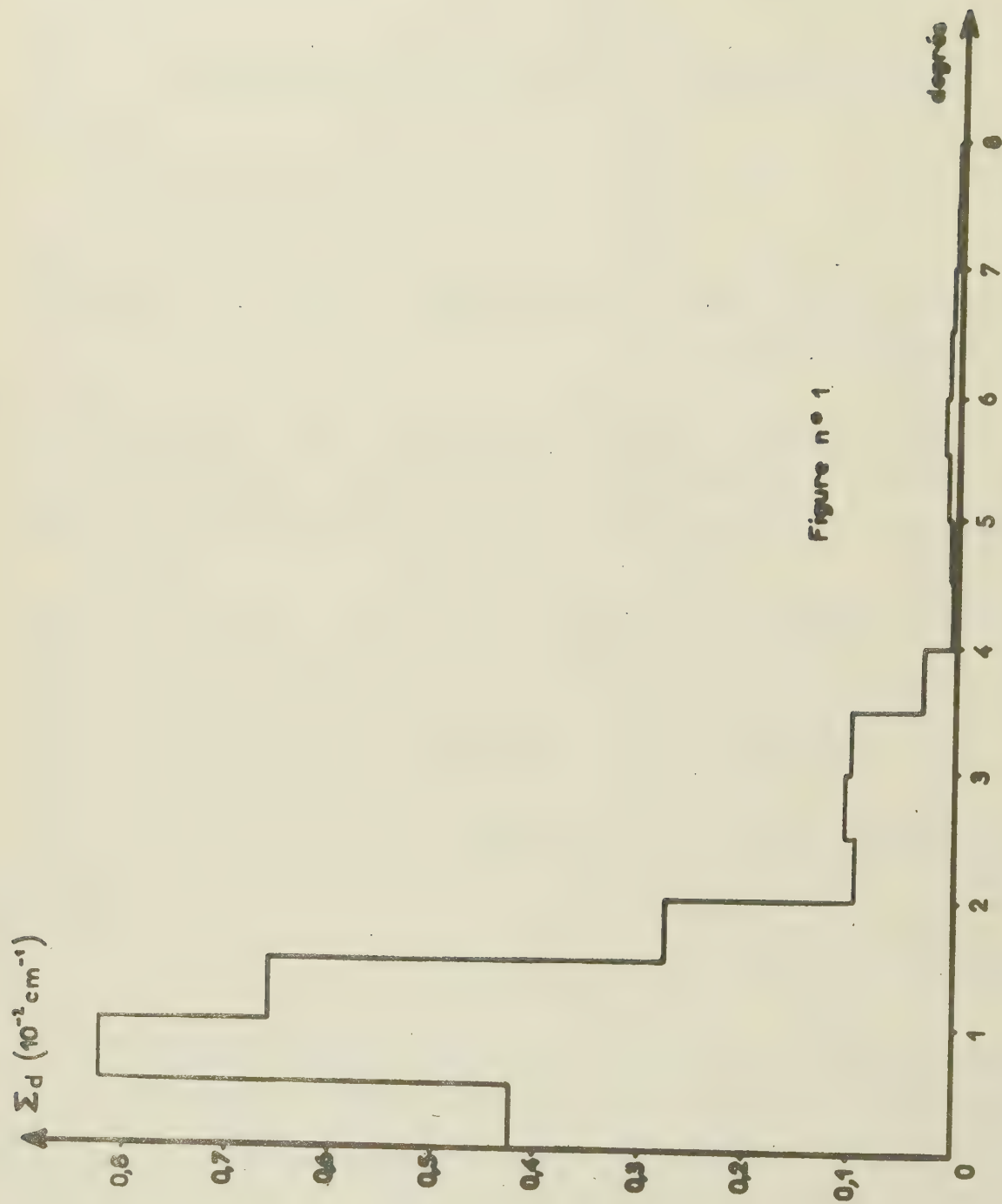


Figure n° 1

lié les évènements ayant l'aspect d'une diffusion mais dans lesquels l'angle est supérieur à 4 degrés. Parmi les étoiles blanches à 1 branche ainsi retenues, figurent toutefois un petit nombre de diffusions véritables ; nous avons déterminé la correction correspondante.

Le nombre des étoiles blanches à nombre de branches impair fut trouvé égal à : $76 \pm \sqrt{76}$

Le nombre des étoiles blanches à nombre de branches pair fut trouvé égal à : $77 \pm \sqrt{77}$

La longueur des traces suivies est : 314,45 m.

Nous avons vu que le faisceau n'est pas uniquement composé d'antiprotons, mais contient aussi des π^- et des μ^- . Dans une publication ⁽⁷⁾ concernant la détermination du libre parcours moyen des antiprotons de 3 GeV/c avec les noyaux complexes de l'émulsion photographique, F. Bartholin et col. ont montré que la longueur des traces d'antiprotons étudiées est en réalité 86,5 % de la longueur totale suivie, et que le nombre des interactions réellement dû aux antiprotons représente 98 % du nombre total des interactions repérées. En supposant que le nombre des étoiles blanches est réduit dans le même rapport, nous pouvons opérer une première correction.

La longueur réelle de traces est $314,45 \times 86,5/100 = 272$ m.

Les nombres d'étoiles blanches réellement causés par les antiprotons sont respectivement :

$$N_{\text{odd}} = 76 \times 98/100 \quad \text{et} \quad N_{\text{even}} = 77 \times 98/100$$

et les libres parcours correspondants :

$$\lambda_{\text{odd}} = (3,65 \pm 0,42) \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{even}} = (3,61 \pm 0,41) \text{ m}$$

Certaines étoiles blanches à une branche sont en réalité des diffusions élas-

tiques d'angle supérieur à 4 degrés avec les noyaux de l'émulsion (hydrogène excepté). Le libre parcours correspondant a été calculé par le modèle optique ; il est égal à 43,5 m.

D'où :

$$\frac{1}{\lambda_{\text{odd}}} = \frac{1}{3,65} - \frac{1}{43,5}$$

$$\lambda_{\text{odd}} = (3,98 \pm 0,42) \text{ m}$$

Nous pouvons admettre que la section efficace d'interaction inélastique des antiprotons avec l'hydrogène libre de l'émulsion est $(58 \pm 3) \text{ mb}$; le libre parcours moyen correspondant est : $(5,36 \pm 0,28) \text{ m}$ et il vient :

$$\frac{1}{\lambda_{\text{even}}} = \frac{1}{3,61} - \frac{1}{5,36}$$

$$\lambda_{\text{even}} = (11^{+8}_{-4}) \text{ m}$$

D'où les sections efficaces :

$$\langle \overline{\sigma}_{\text{odd}} \rangle = (54 \pm 6) \text{ mb}$$

$$\langle \overline{\sigma}_{\text{even}} \rangle = (19^{+14}_{-6}) \text{ mb}$$

Le rapport des sections efficaces d'interactions avec un noyau de type $\overline{p} - n$ et de type $\overline{p} - p$ est donc :

$$\frac{\langle \overline{\sigma}_{\text{odd}} \rangle}{\langle \overline{\sigma}_{\text{even}} \rangle} = \frac{54}{19^{+14}_{-6}} = 2,8 \begin{matrix} + 2,1 \\ - 0,9 \end{matrix}$$

Ce rapport est donc sensiblement supérieur à 1. Ce résultat peut-il s'expliquer ? Nous admettons que les événements du type " étoile blanche " sont produits dans des réactions où la cascade se réduit à une seule interaction. Dans ces conditions, les nombres N_o et N_e d'événements " odd " et d'événements " even " sont respectivement proportionnels à :

$$N_o \propto \overline{\sigma_{\bar{p}-n}} \cdot (A-Z)$$

$$N_e \propto \overline{\sigma_{\bar{p}-p}} \cdot Z$$

où Z et A sont le nombre atomique et le nombre de masse du noyau.

Par suite :

$$\frac{N_o}{N_e} = \frac{\overline{\sigma_{\bar{p}-n}} \cdot (A-Z)}{\overline{\sigma_{\bar{p}-p}} \cdot Z}$$

D'après les données de F. Bartholin (7) :

$$\overline{\sigma_{\bar{p}-n}} / \overline{\sigma_{\bar{p}-p}} = 1,4$$

D'autre part, pour les noyaux lourds :

$$(A-Z) / Z = 1,3$$

Alors que pour les noyaux légers

$$(A-Z) / Z \approx 1$$

Supposons que toutes les interactions sans branches noires sont des interactions avec des nucléons liés des noyaux lourds. Nous obtenons :

$$N_o/N_e = 1,4 \cdot 1,3 = 1,8$$

Cette valeur n'est pas incompatible avec nos résultats expérimentaux.

L'hypothèse que les noyaux lourds interviennent seuls dans les réactions sans particule chargée lente est assez naturelle. Il est en effet bien connu

qu'une excitation même faible se traduit dans un noyau léger par l'émission de particules chargées, alors que dans un noyau lourd elle aboutit à l'émission de photons ou de neutrons.

Bien évidemment, une valeur légèrement plus élevée de la section efficace $\overline{\sigma}_{\bar{p}-n}$ permettrait de rendre encore mieux compte de nos observations.

De toute manière, le rapport $\overline{\sigma}_{\text{odd}} / \overline{\sigma}_{\text{even}}$ obtenu paraît confirmer le fait que, pour des antiprotons de 3 GeV/c, la section efficace d'interaction $\bar{p} - n$ est plus élevée que la section efficace $\bar{p} - p$.

2° - Répartition des étoiles en fonction de leur nombre de branches

153 étoiles blanches ont donc été repérées. Le nombre de leurs branches varie de 0 à 8. L'histogramme montrant la distribution de ces étoiles en fonction de leur nombre de branches est représenté sur la figure 2.

On remarque que la probabilité de formation de ces étoiles diminue au fur et à mesure que la multiplicité des branches augmente.

Il est naturellement difficile d'aboutir à des conclusions certaines, compte tenu de l'insuffisance des données expérimentales en ce qui concerne les énergies et aussi du fait que les pions neutres ne sont pas visibles.

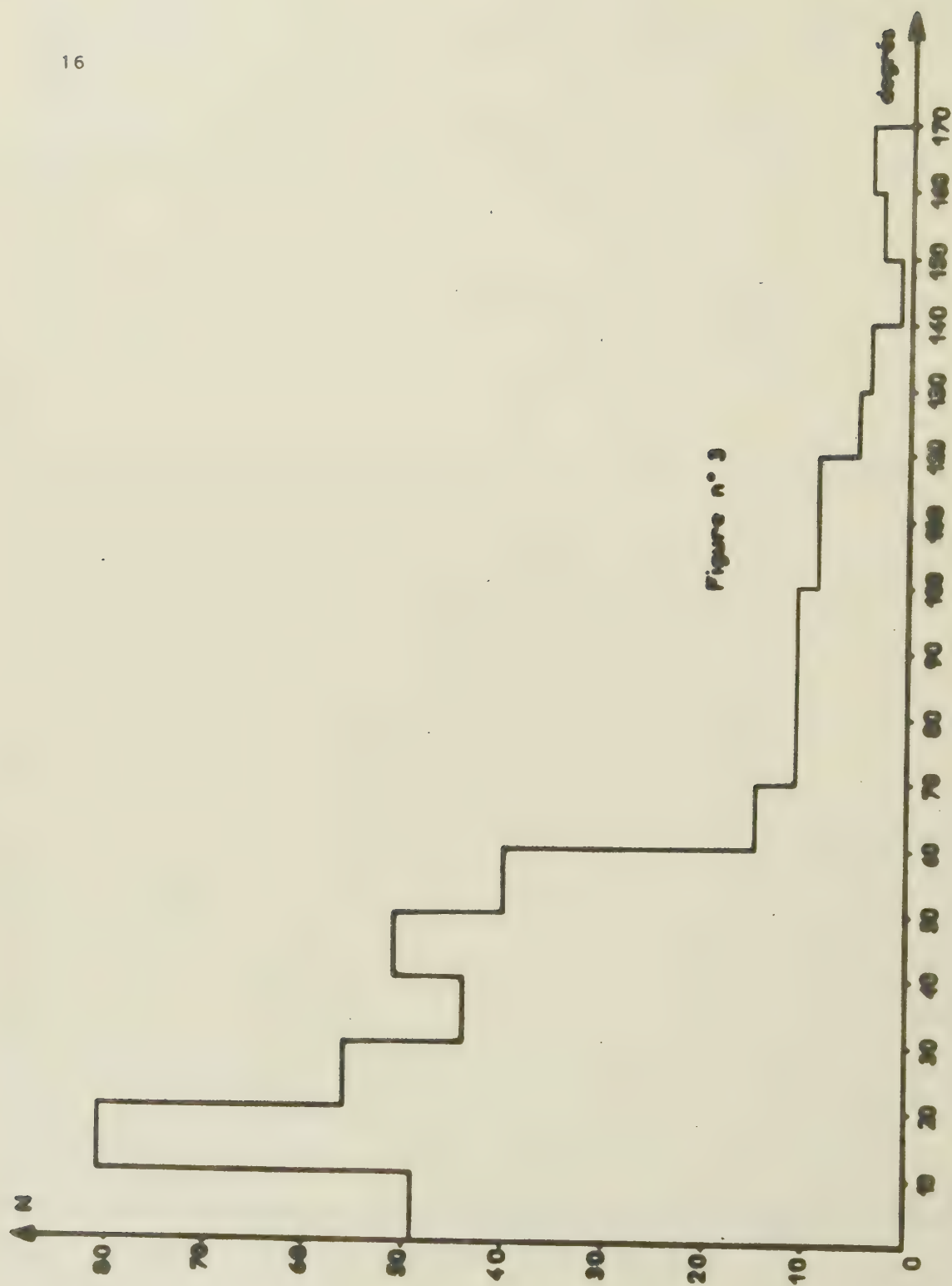
Nous pouvons cependant observer que la décroissance de la fréquence lorsque croît la multiplicité est un phénomène constaté aussi bien pour les interactions $\bar{p} - n$ que pour les interactions $\bar{p} - p$.

3° - Distribution angulaire de l'ensemble des particules chargées

Nous avons mesuré les angles que font les particules chargées des étoiles blanches avec la direction incidente. La distribution angulaire est alors celle de la figure 3. Le rapport avant / arrière est donc dans ce cas



Figure n° 2



$$\frac{N_{FW}}{N_{BW}} = \frac{358}{46} = 7,78$$

Ce rapport élevé s'explique qualitativement :

- par le fait qu'un certain nombre d'évènements ne sont pas des évènements d'annihilation avec création d'énergie cinétique à partir de la masse.

- que, même dans le cas d'annihilations, l'énergie cinétique n'est pas négligeable par rapport à l'énergie de masse transformable.

4° - Corrélation entre l'angle d'émission et l'impulsion des particules émises sous l'angle le plus faible

Nous avons pu mesurer, par la méthode diffusion, le moment linéaire de 33 particules émises sous un angle faible. Sur la figure 4 apparaît la corrélation entre le moment de ces particules et l'angle sous lequel elles sont émises. Pour chaque évènement est indiqué le nombre total de branches secondaires.

En dépit des erreurs statistiques qui sont assez importantes, nous pouvons observer dans l'ensemble une nette décroissance du moment de la particule lorsque l'angle d'émission croît.

Nous avons indiqué plus haut que le libre parcours pour la diffusion d'un antiproton par un noyau était d'environ 45 m. En principe, nous devons donc nous attendre à trouver 6 ± 3 évènements de ce type. Effectivement, 3 évènements (1), (2), (3) pour lesquels l'angle est compris entre 3° et 4° répondent aux critères d'une diffusion antiproton - noyau et pour 3 autres évènements (4), (5), (6), une identification avec un phénomène de ce genre est parfaitement possible. Par contre, les évènements (7), (8) et probablement (9) ont un angle qui paraît trop élevé pour correspondre à une diffusion par un noyau, même léger (d'ailleurs avec un angle aussi élevé, le recul serait visible). Il s'agit donc très vraisemblablement de dif-

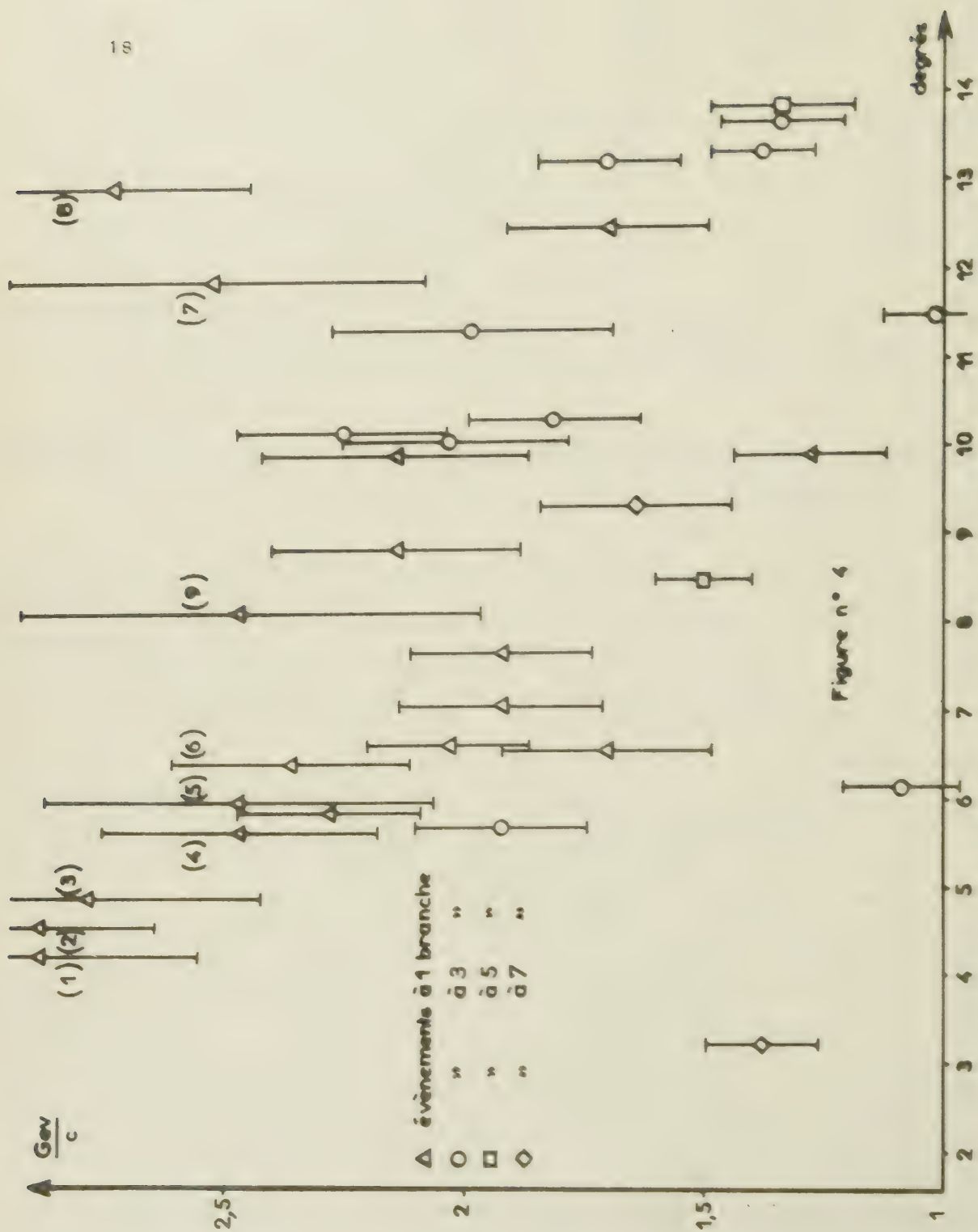


Figure n° 4

fusions élastiques $\bar{p} - n$.

5° - Corrélation entre le moment de la particule émise sous l'angle le plus faible et le nombre de branches de l'évènement dont elle fait partie

La figure 5 sur laquelle est indiquée cette corrélation nous montre que le moment de la particule émise sous l'angle le plus faible, donc à priori la plus énergétique, décroît lorsque le nombre de particules chargées produites dans l'interaction croît. Ce résultat semble indiquer que les évènements dans lesquels la particule est émise sous un angle petit sont essentiellement des diffusions inélastiques et non des annihilations. Pour celles-ci en effet, l'énergie libérée est assez élevée pour permettre l'émission d'une particule de grande énergie accompagnée d'autres particules.

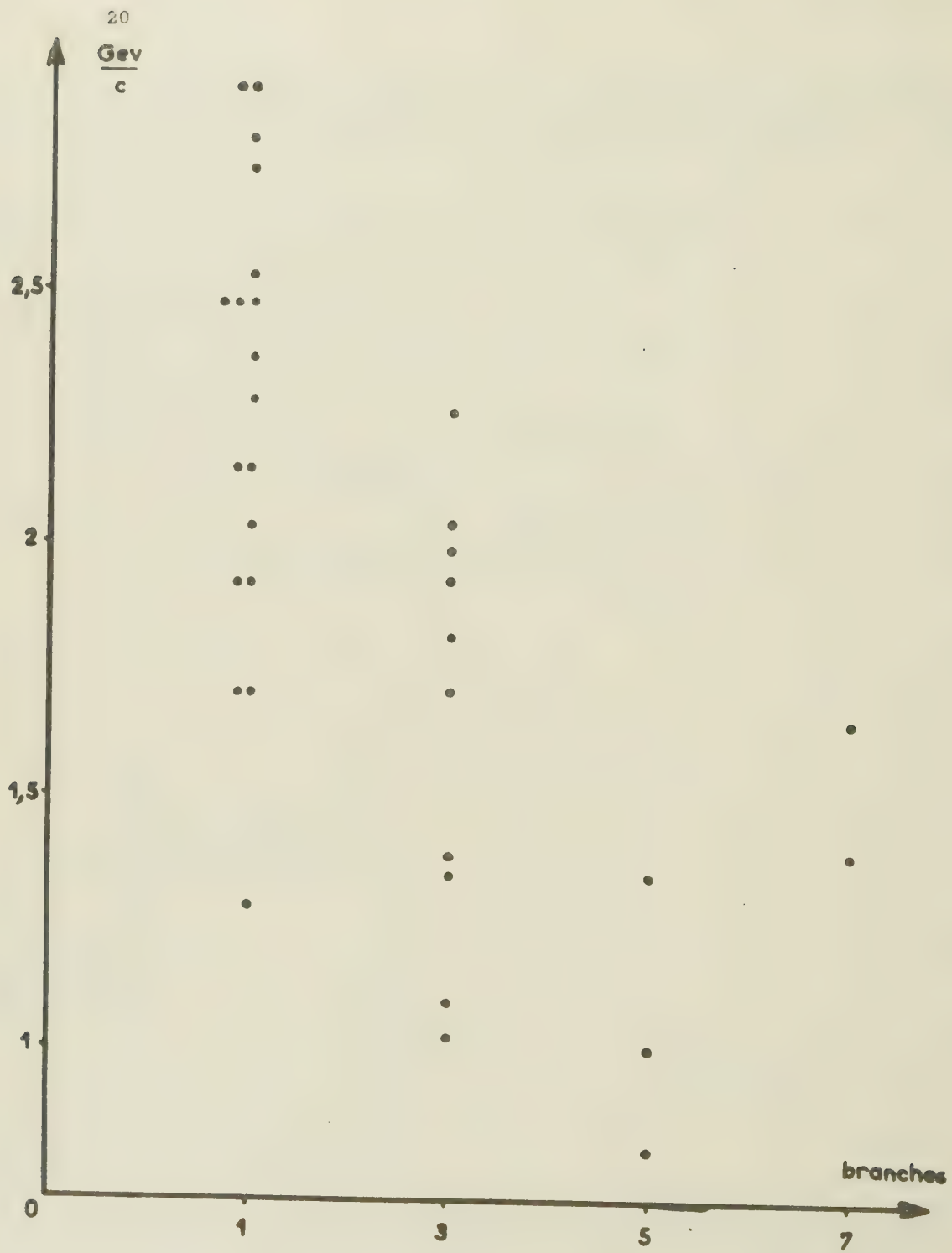


Figure n° 5

CONCLUSION

L'étude expérimentale des interactions des antiprotons avec les noyaux de l'émulsion photographique nous a permis d'aboutir à quelques conclusions quant aux réactions de type antiproton - proton lié ne s'accompagnant pas d'une excitation importante du noyau cible.

1° - Les interactions de type antiproton - neutron lié sont plus nombreuses que celles de type antiproton - proton lié ; le rapport des deux sections efficaces correspondantes a été trouvé égal à : $2,8^{+2,1}_{-0,9}$. Ce résultat s'explique au moins partiellement par la plus grande section efficace d'interaction antiproton - neutron annoncée par F. Bartholin (112^{+29}_{-25} mb), ainsi que par l'excès de neutrons dans les noyaux de type AgBr.

2° - Parmi les interactions donnant lieu à la réémission d'un antiproton d'énergie sensiblement égale à l'énergie incidente, certaines d'entre elles peuvent être considérées comme des diffusions élastiques antiproton - noyau.

3° - Il y a corrélation entre l'angle d'émission de la particule la plus rapide et son énergie.

4° - Les multiplicités de pions paraissent ne pas différer sensiblement pour les interactions $\bar{p} - n$ et les interactions $\bar{p} - p$. (cf. figure n° 2)

Un travail analogue à celui-ci, mais portant sur un nombre de plaques bien supérieur à celui dont nous avons pu disposer, permettrait de diminuer beaucoup l'erreur statistique qui accompagne les résultats. En particulier, la section efficace d'interaction antiproton - neutron pourrait être déterminée de cette manière avec une précision meilleure. Nous souhaitons donc vivement qu'une nouvelle étude de ce type, à plus grande échelle que la nôtre, soit menée à bien.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE I - Rappel de quelques résultats antérieurs sur les interactions des antiprotons</u>	3
<u>CHAPITRE II - Méthodes expérimentales</u>	
1 - Le stack	5
2 - L'exploration	5
3 - Les mesures	5
<u>CHAPITRE III - Résultats expérimentaux</u>	
1 - Sections efficaces de production des étoiles blanches à nombre de branches pair et impair	9
2 - Répartition des étoiles en fonction de leur nombre de branches	14
3 - Distribution angulaire de l'ensemble des particules chargées	14
4 - Corrélation entre l'angle d'émission et l'impulsion des particules émises sous l'angle le plus faible	17
5 - Corrélation entre le moment de la particule émise sous l'angle le plus faible et le nombre de branches de l'évènement dont elle fait partie	19
CONCLUSION	
BIBLIOGRAPHIE	

BIBLIOGRAPHIE

- 1 B. TINLAND - F. BARTHOLIN - A. BURDET
"Emission de fragments rapides de charge 2 dans les interactions nucléaires de grande énergie."
J. Phys. 24,8,604 - 1963
- 2 G. PELAT
Thèse de Doctorat d'Université
"Sur l'annihilation des antiprotons dont l'énergie cinétique est comprise entre 200 et 250 MeV"
Paris 1961
- 3 CHAMBERLAIN - GOLDHABER
Phys. Rev. 113, 1615, 1959
- 4 GOLDSCHMIDT-CLERMONT..., MORRISON et col.
"Elastic scattering and single pion production by 3.0 GeV/c antiprotons in hydrogen"
Intern. Conf. on high energy physics at CERN 1962
- 5 FERBEL - SANDWEISS et col.
"Elastic scattering and multipion annihilations of 3,25 GeV/c antiprotons in hydrogen"
Intern. Conf. on high energy physics at CERN 1962
- 6 H. DJERASSI - M. LAMI
"Etude de la contamination en mésons π^- et μ^- de faisceau d'antiprotons d'impulsion 3,0 GeV/c et 3,6 GeV/c, à l'aide des clichés de chambres à bulles"
CERN/TC/ Physics 2 - 1962

7 F. BARTHOLIN et col.

"Section efficace d'interaction des antiprotons de moment 3 GeV/c
avec les noyaux complexes"

à paraître aux Comptes Rendus Ac. Sci.

8 AMALDI - COCCONI et col.

"Antiproton - proton total cross-section between 0,58 and 5,3 GeV/c"

Conf. d'Aix en Provence sur les particules élémentaires 1961

Vu :

Les Membres du Jury

A. SARAZIN

G. PHILBERT

A. LAFORGUE

Vu et Approuvé :

Le Doyen de la Faculté des Sciences

J. BRACONNIER

Vu et accordé le permis d'imprimer :

Lyon, le 3 Mars 1964

Le Recteur

Président du Conseil de l'Université

P. LOUIS

